

Implementasi Simulasi Sistem untuk Optimasi Proses Produksi pada Perusahaan Pengalengan Ikan

Fenki Sugiarto dan Joko Lianto Buliali

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: joko@its-sby.edu

Abstrak—Proses produksi di perusahaan pengalengan ikan merupakan suatu sistem yang kompleks dan terdiri dari banyak proses yang berjalan secara berurutan. Beberapa proses diantaranya melibatkan proses dengan mesin dan manusia yang memiliki ketidakpastian waktu pengerjaan. Skala produksi yang besar membuat uji coba ril untuk mendapatkan optimasi dari sistem tidak efektif untuk dilakukan karena membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang besar.

Dengan menggunakan simulasi, penelitian ini bertujuan membuat model yang dapat merepresentasikan sistem tersebut serta membuat sistem alternatif yang meningkatkan optimasi dari sistem lama. Setelah model terbentuk, dilakukan verifikasi dan validasi untuk meyakinkan bahwa model berjalan dengan benar dan dapat merepresentasikan proses ril dengan tepat. Model diverifikasi dan divalidasi disimulasikan dalam rentang waktu tertentu sehingga dapat dianalisis hasilnya untuk membuat sistem-sistem alternatif yang bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja sistem tersebut.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah adanya analisis terhadap kinerja sistem serta kemudian dibuat 3 buah sistem alternatif yang dapat meningkatkan kinerja dari sistem lama. Perbaikan tersebut diperoleh dari sistem-sistem alternatif yang dibuat melalui simulasi sebagai hasil dari proses optimasi dari sistem yang lama..

Kata Kunci—simulasi sistem, model, verifikasi dan validasi, perbaikan kinerja sistem, perusahaan pengalengan ikan

I. PENDAHULUAN

Pemodelan adalah cara untuk mengembangkan representasi sederhana dari sistem yang kompleks dengan tujuan untuk menyediakan prediksi dari ukuran performa sistem. Representasi sederhana tersebut dinamakan model. Sebuah model dirancang untuk menangkap aspek perilaku tertentu dari sistem yang dimodelkan dengan tujuan untuk memperoleh pengetahuan dan dapat melihat ke dalam isi perilaku sistem tersebut. Pemodelan menyangkut hal abstraksi dan simplifikasi [1].

Langkah-langkah dalam membangun model simulasi adalah sebagai berikut [1]:

1. Menganalisis masalah dan mengumpulkan informasi
2. Mengumpulkan data
3. Membangun model
4. Melakukan verifikasi model
5. Melakukan validasi model
6. Mendesain dan membuat skenario simulasi
7. Melakukan analisis *output*
8. Membuat rekomendasi akhir

Penelitian ini melaporkan hasil pembuatan model simulasi yang dapat merepresentasikan sistem nyata dari suatu perusahaan pengalengan ikan untuk kemudian dibuatkan sistem alternatif yang mampu meningkatkan kinerja sistem nyata tersebut. Sistem nyata sendiri yang akan dimodelkan terdiri dari proses *thawing*, *cutting*, *cooking*, *showering*, *cooling*, dan *pre-cleaning*. *Thawing* merupakan proses pencairan ikan beku yang di ambil dari gudang pendingin. *Cutting* adalah proses pemotongan ikan dengan mengeluarkan tulang punggung dari ikan. Setelah itu ikan masuk ke proses *cooking*, yaitu proses memasak ikan melalui mesin *cooker*. Setelah selesai dimasak, ikan melalui tahap *showering* di mana ikan didinginkan dengan disirami oleh air dari *shower* serta proses *cooling*, yaitu proses pendinginan lebih lanjut dengan cara mendinginkan ikan dalam suatu ruangan sampai air dalam ikan tersebut kering. Proses terakhir adalah *pre-cleaning*, proses di mana di mana ikan dibersihkan dari kulit, tulang dan organ-organ dalamnya.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat model simulasi dari proses produksi pada perusahaan pengalengan ikan, mensimulasikan dengan sejumlah sistem alternatif, menganalisis hasilnya, dan menentukan sistem alternatif yang terbaik.

II. METODE

A. Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Langkah awal dalam penelitian ini adalah mengumpulkan data waktu proses produksi dari perusahaan yang mencakup waktu di mana entitas mulai memasuki suatu proses, waktu di mana entitas meninggalkan suatu proses dan durasi lamanya entitas berada dalam suatu proses. Selain data tersebut juga diperlukan data tentang karakteristik tiap proses dalam sistem, meliputi kapasitas *resources* tiap proses dan penjadwalan setiap proses sehingga model simulasi yang dibuat dapat merepresentasikan proses-proses tersebut secara tepat.

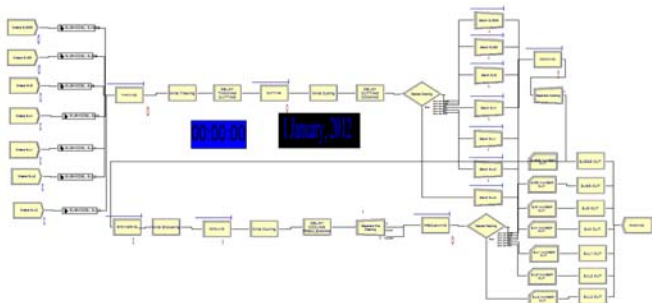
Data yang didapat dari perusahaan merupakan data produksi selama bulan Nopember dan Desember 2011. Data tersebut tidak semuanya dibutuhkan untuk simulasi sehingga dipilih data mana saja yang diperlukan dan data mana yang tidak. Data yang diperlukan adalah data waktu proses produksi seperti yang telah dijelaskan di atas. Langkah selanjutnya adalah mengeliminasi data-data yang bermasalah, yaitu data-data yang mengandung kesalahan pencatatan waktu misalnya data durasi waktu yang bernilai negatif. Data-data

yang telah terkumpul kemudian dikelompokkan berdasarkan jenis dan ukuran ikan. Dalam penelitian ini, ikan yang diteliti adalah ikan jenis Skipjack (disingkat dengan SJ) dengan 7 jenis ukuran, yaitu mulai dari yang terbesar sampai yang terkecil adalah SJL3, SJL2, SJL1, SJM, SJS, SJSS, dan SJSSS.

Data dari ketujuh jenis ikan SJ kemudian direkapitulasi untuk mendapatkan nilai *input* bagi model. Nilai *input* yang dimaksud berupa distribusi data dari durasi tiap proses, data durasi *delay* (waktu tunda) antar proses dan distribusi penduplikasian ikan pada proses *pre-cleaning* (keranjang besar yang berisi ikan dipecah menjadi keranjang-keranjang yang lebih kecil untuk diproses secara paralel). Nilai data tersebut kemudian diolah dengan *input analyzer* dari Arena untuk mendapatkan nilai distribusinya. Potongan tabel yang menunjukkan hasil distribusi dari tiap proses pada semua jenis ikan dapat dilihat pada Tabel 1.

B. Tahap Perancangan Model Simulasi

Model simulasi dirancang sesuai dengan karakteristik dari sistem nyata di mana kapasitas *resources* dan penjadwalan tiap proses disesuaikan dengan sistem nyata. Durasi tiap proses dan *delay* antar proses juga mengikuti distribusi data yang diambil dari sistem nyata. Sedangkan kedatangan entitas disesuaikan dengan waktu kedatangan entitas pada sistem nyata. Tampilan model simulasi secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Tampilan Model Simulasi Secara Keseluruhan

Tabel 1.
Nilai distribusi durasi proses dan delay dalam model simulasi

| Jenis Ikan | Jenis Durasi | Distribusi Durasi |
|------------|----------------|--|
| SJSSS | Thawing | POIS(148) |
| | Delay Tha-Cut | -0.001 + 105 * BETA(0.699, 2.33) |
| | Cutting | 1.5 + ERLA(9.47, 2) |
| | Delay Cut-Cook | -0.001 + LOGN(155, 603) |
| | Cooking | TRIA(44.5, 60, 70.5) |
| | Showering | 15.5 + 48 * BETA(2.88, 1.51) |
| | Cooling | 120 |
| | Delay Cool-Pcl | NORM(275, 124) |
| | Pemisahan Pcl | DISC(0.017422, 1, 0.111498, 2, 0.4495, 3, 0.7352, 4, 0.8850, 5, 0.95122, 6, 0.9861, 7, 1.0, 8) |
| SJSS | Pre-cleaning | 6 + LOGN(107, 104) |
| | Thawing | NORM(149, 14.9) |
| | ... | ... |
| SJS | Pre-cleaning | 0.999 + LOGN(107, 77.9) |
| | Thawing | NORM(152, 14.2) |
| | ... | ... |
| SJS | Pre-cleaning | -0.001 + LOGN(109, 70.8) |
| | ... | ... |

| | | |
|------|--------------|--------------------------------|
| SJM | Thawing | 10 + WEIB(193, 12.6) |
| | ... | ... |
| | Pre-cleaning | 3 + LOGN(106, 64.4) |
| SJL1 | Thawing | 175 + WEIB(90.1, 4.9) |
| | ... | ... |
| | Pre-cleaning | -0.001 + LOGN(103, 62.2) |
| SJL2 | Thawing | 30 + 310 * BETA(4.78, 0.292) |
| | ... | ... |
| | Pre-cleaning | 16 + LOGN(84.1, 72.2) |
| SJL3 | Thawing | 310 + 115 * BETA(0.863, 0.182) |
| | ... | ... |
| | Pre-cleaning | 15 + GAMM(37, 2.49) |

C. Tahap Verifikasi Model Simulasi

Verifikasi adalah proses untuk memastikan apakah model simulasi berjalan sesuai dengan yang diharapkan dan dilakukan untuk memastikan bahwa model bebas dari *error* dan berjalan sesuai dengan konsep yang diinginkan [2]. Verifikasi pada penelitian ini dilakukan dengan memastikan bahwa model simulasi berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Untuk itu perlu dilakukan uji statistika untuk mengetahui apakah komponen-komponen dalam model sudah berjalan sesuai dengan konsep yang diinginkan. Hal yang akan diuji dalam verifikasi ini adalah waktu di mana entitas keluar dari proses yang ada di dalam model apakah sama secara signifikan dengan waktu yang tercatat dari sistem nyata. Uji verifikasi ini dilakukan dengan uji-t 2-sample.

Uji-t 2 sample digunakan untuk melakukan uji hipotesis dan menghitung nilai *confidence interval* dari perbedaan antara dua nilai rata-rata populasi di mana standar deviasi dari populasi tersebut (σ') tidak diketahui. Hipotesis yang akan dipakai untuk uji-t 2-sample pada penelitian ini adalah:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = \delta_0 \quad (1)$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq \delta_0 \quad (2)$$

dengan H_0 adalah hipotesis *null*, H_1 adalah hipotesis alternatif, μ_1 merupakan nilai rata-rata populasi pertama, μ_2 merupakan nilai rata-rata populasi kedua dan δ_0 adalah perbedaan nilai rata-rata antara dua populasi yang diuji [3].

Pengujian ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Minitab. Nilai *confidence interval* (α) yang digunakan adalah 0,05, jika pada hasil uji-t 2-samples nilai *P-Value* > nilai α maka H_0 diterima artinya data secara signifikan sama dan sebaliknya. Hasil rekapitulasi dari verifikasi dapat dilihat pada Tabel 2. Dari tabel tersebut terlihat bahwa seluruh nilai *P-Value* > nilai α maka model dinyatakan telah terverifikasi dengan baik. Uji verifikasi dilakukan terhadap 3 hari simulasi yang dipilih dengan menguji 4 proses, yaitu *thawing*, *cutting*, *showering* dan *cooling*.

Tabel 2.
Hasil verifikasi model simulasi

| Jenis Ikan | Proses | 7 Nopember | 11 Nopember | 5 Desember |
|------------|-----------|------------|-------------|------------|
| SJSSS | Thawing | 0,553 | 0,055 | 0,451 |
| | Cutting | 0,580 | 0,296 | 0,477 |
| | Showering | 0,491 | 0,545 | 0,126 |
| | Cooling | 0,491 | 0,545 | 0,126 |
| SJSS | Thawing | 0,813 | 0,254 | 0,277 |
| | Cutting | 0,562 | 0,063 | 0,114 |
| | Showering | 0,068 | 0,564 | 0,053 |
| | Cooling | 0,068 | 0,564 | 0,053 |

| | | | | |
|------|-----------|-------|-------|-------|
| SJS | Thawing | 0,784 | 0,883 | 0,905 |
| | Cutting | 0,457 | 0,620 | 0,859 |
| | Showering | 0,204 | 0,641 | 0,142 |
| | Cooling | 0,204 | 0,641 | 0,142 |
| SJM | Thawing | 0,985 | 0,071 | 0,957 |
| | Cutting | 0,226 | 0,290 | 0,980 |
| | Showering | 0,194 | 0,366 | 0,475 |
| | Cooling | 0,194 | 0,366 | 0,475 |
| SJL1 | Thawing | 0,780 | 0,120 | 0,472 |
| | Cutting | 0,131 | 0,129 | 0,128 |
| | Showering | 0,136 | 0,065 | 0,234 |
| | Cooling | 0,136 | 0,065 | 0,234 |
| SJL2 | Thawing | 0,536 | 0,117 | 0,229 |
| | Cutting | 0,499 | 0,058 | 0,149 |
| | Showering | - | 0,077 | 0,358 |
| | Cooling | - | 0,162 | 0,855 |
| SJL3 | Thawing | 0,089 | 0,277 | 0,350 |
| | Cutting | 0,151 | 0,366 | 0,696 |
| | Showering | 0,082 | 0,255 | 0,226 |
| | Cooling | 0,570 | 0,349 | 0,650 |

Keterangan: jumlah ikan SJL2 pada tanggal 7 Nopember yang diproduksi kurang dari 5 buah sehingga memenuhi kuota minimal untuk *batch cooking* jadi tidak sampai melalui proses *cooking*, *showering*, *cooling*, dan *pre-cleaning*.

D. Tahap Validasi Model Simulasi

Validasi model adalah proses menentukan apakah model simulasi yang dibuat dapat merepresentasikan sistem nyata dengan tepat [3]. Proses validasi yang akan dilakukan pada model adalah membandingkan data waktu entitas keluar dari sistem pada model dengan data waktu entitas keluar dari sistem pada sistem nyata. Pembandingan itu dilakukan dengan menguji tingkat signifikansi kemiripan dua data waktu tersebut dengan uji-t 2-sample seperti pada proses verifikasi. Dari hasil uji statistika tersebut didapat hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 3.
Hasil verifikasi model simulasi

| Jenis Ikan | Sistem Nyata | | Model Simulasi | | P-Value |
|------------|---------------|-------|----------------|-------|---------|
| | Jumlah Output | Mean | Jumlah Output | Mean | |
| SJSSS | 1081 | 35782 | 611 | 35762 | 0,038 |
| SJSS | 2308 | 47180 | 789 | 38858 | 0,000 |
| SJS | 7296 | 48738 | 1600 | 36992 | 0,000 |
| SJM | 5489 | 34360 | 2947 | 40447 | 0,000 |
| SJL1 | 3608 | 34718 | 1973 | 39363 | 0,000 |
| SJL2 | 1717 | 36908 | 842 | 36283 | 0,491 |
| SJL3 | 518 | 14571 | 541 | 19512 | 0,000 |

Dari hasil validasi di atas maka model hanya dinyatakan valid ($P\text{-Value} > 0,05$) hanya pada ikan jenis SJL2 saja. Alasan mengapa model tidak tervalidasi dengan baik adalah karena proses *pre-cleaning* yang tidak dapat direpresentasikan dengan sempurna oleh model. Jumlah duplikasi pada proses ini dibuat dengan distribusi probabilitas diskrit karena tidak memiliki pola tertentu (sifatnya kondisional). Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat hasil validasi di mana jumlah *output* data asli jauh berbeda dengan jumlah *output* data dari model dikarenakan jumlah duplikasi yang tidak terrepresentasi dengan baik. Perbedaan yang cukup tinggi inilah yang membuat model menjadi tidak tervalidasi dengan baik.

III. UJI COBA DAN ANALISIS HASIL SIMULASI

A. Penentuan Jumlah Replikasi

Untuk mengurangi variansi maka simulasi harus dilakukan sebanyak n kali replikasi. Untuk mendapatkan nilai n maka perlu dilakukan replikasi awal n_0 yaitu sebanyak 10 kali replikasi. Hasil dari 10 replikasi tersebut terdapat dalam Tabel 4. Kolom n menunjukkan replikasi ke- n . Selanjutnya untuk mendapatkan nilai n' (n replikasi yang dibutuhkan) maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$n = 10 \text{ (replikasi awal)}$$

$$n-1 = 9$$

$$\alpha = 0.05$$

$$t_{n-1, \alpha/2} = t_{9, 0,025} = 2,26$$

Tabel 4.

Hasil replikasi awal ($n=10$)

| n | SJSSS | SJSS | SJS | SJM | SJL1 | SJL2 | SJL3 | TOTAL |
|---------------------|-------|------|------|------|------|------|------|--------|
| 1 | 611 | 789 | 1600 | 2947 | 1973 | 842 | 541 | 9303 |
| 2 | 623 | 775 | 1549 | 2886 | 1964 | 881 | 533 | 9211 |
| 3 | 607 | 812 | 1617 | 3044 | 2038 | 859 | 572 | 9549 |
| 4 | 596 | 816 | 1664 | 2979 | 2020 | 852 | 545 | 9472 |
| 5 | 606 | 836 | 1645 | 2957 | 1995 | 861 | 546 | 9446 |
| 6 | 592 | 797 | 1564 | 2891 | 1949 | 872 | 539 | 9204 |
| 7 | 615 | 801 | 1649 | 2994 | 2037 | 908 | 551 | 9555 |
| 8 | 611 | 783 | 1590 | 2891 | 2003 | 832 | 565 | 9275 |
| 9 | 594 | 778 | 1642 | 3075 | 2015 | 904 | 550 | 9558 |
| 10 | 599 | 774 | 1593 | 2899 | 1922 | 876 | 546 | 9209 |
| Rata - rata | | | | | | | | 9378,2 |
| Standar Deviasi (s) | | | | | | | | 144,70 |
| Variansi | | | | | | | | 20938 |

Nilai *Half Width* dihitung dengan rumus [2]:

$$\text{Half width} = \frac{(t_{n-1, \alpha/2}) \times s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

$$\text{Half Width} = \frac{2,26 \times 144,70}{\sqrt{10}}$$

$$= 103,41812$$

Dari perhitungan di atas di dapat nilai *half width* sebesar 103,41812 atau jika dihitung prosentase error terhadap rata-rata dari data adalah sebesar:

$$\begin{aligned} & 103,41812 / \text{rata-rata} \times 100\% \\ & = 103,41812 / 9378,2 \times 100\% \\ & = 1,1\% \end{aligned}$$

Jadi nilai error terhadap rata-rata data sebesar 1,1%. Nilai error ini tentunya harus diperkecil. Penulis memutuskan untuk memperkecil nilai error tersebut hingga menjadi 0,8% sehingga nilai *half width* yang diinginkan menjadi:

$$9378,2 \times 0,008 = 75,256$$

Jadi, nilai *half width* baru yang diinginkan adalah 75,256.

Selanjutnya menghitung nilai n' yaitu nilai replikasi baru yang dibutuhkan dengan menggunakan nilai *half width* baru yang didapat dari perhitungan sebelumnya dengan menggunakan rumus [2]:

$$\begin{aligned} n' &= \left[\frac{(Z_{\alpha/2}) \times s}{\text{half width}} \right]^2 \\ &= \left[\frac{1,96 \times 144,703}{75,256} \right]^2 \\ &= 14,2 = 14 \end{aligned} \quad (4)$$

Jadi jumlah replikasi yang dibutuhkan adalah sejumlah 14 kali replikasi.

B. Evaluasi Sistem yang Digunakan Saat Ini

Model dijalankan dengan replikasi sejumlah 14 kali dan dalam rentang waktu 51 hari (sesuai dengan total hari kerja simulasi). Dari hasil simulasi akan dievaluasi utilitas dari masing-masing *resources* dari tiap proses. Utilitas memiliki nilai dalam rentang minimum 0 sampai maksimum 1. Utilitas bernilai 0 artinya *resources* tidak bekerja sama sekali dalam sistem. Sebaliknya utilitas bernilai 1 berarti utilitas bekerja terus menerus tanpa berhenti selama simulasi. Utilitas yang baik adalah utilitas yang berada dalam rentang 0,5 sampai 0,7. Jika suatu proses memiliki utilitas *resources* rendah (kurang dari 0,5) berarti *resources* pada proses tersebut lebih banyak menganggur daripada bekerja sehingga perlu dikurangi jumlahnya agar nilai utilitasnya akan meningkat. Sebaliknya, jika suatu proses memiliki utilitas *resources* tinggi (lebih dari 0,7) berarti *resources* pada proses tersebut terlalu sibuk sehingga jumlah nya harus ditambah agar nilai utilitasnya akan menurun. Hasil evaluasi utilitas *resources* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5.
Hasil evaluasi sistem nyata

| Resources | Rata-rata |
|-----------|-----------|
| Thawing | 0,23 |
| Cutting | 0,38 |
| Cooking | 0,11 |
| Showering | 0,08 |
| Cooling | 0,05 |
| PCL | 0,74 |

Dari Tabel 5. dapat dianalisis utilitas *resources-resources* yang digunakan sistem nyata, mulai dari *thawing* sampai *pre-cleaning*. Rata-rata utilitas *resources thawing* adalah 0,23. Utilitas ini masih terlalu kecil artinya *resources* lebih banyak menganggur daripada bekerja. *Resources thawing* berupa suatu ruangan yang mampu menampung maksimal 138 buah entitas sekaligus. Untuk meningkatkan nilai utilitas *resources thawing* maka kapasitas maksimum ruangan tersebut perlu dikurangi sehingga sisa ruangan yang tidak terpakai bisa digunakan untuk keperluan lain.

Berikutnya adalah utilitas *resources cutting*. Rata-rata utilitas ini adalah 0,38. Nilai utilitas ini masih harus ditingkatkan. *Resources cutting* berupa ruangan yang di dalamnya terdapat 3 lajur yang mampu menangani masing-masing 1 entitas secara bersamaan. Untuk dapat meningkatkan utilitasnya maka jumlah lajur dalam proses *cutting* perlu dikurangi.

Pada *resources cooking*, nilai utilitasnya adalah 0,11 dan nilai ini sangat rendah yang artinya mesin-mesin *cooker* sebagai *resources cooking* yang jumlahnya ada 10 lebih banyak menganggur daripada digunakan. Jumlah mesin *cooker* perlu dikurangi untuk dapat meningkatkan utilitas *resources cooking*.

Rata-rata utilitas *resources showering* adalah 0,08. Tentu saja nilai utilitas ini sangat rendah namun mengingat *resources showering* hanya berupa ruangan untuk mendinginkan ikan (dengan aliran air dari *shower*) yang baru selesai dimasak maka penulis beranggapan *resources* ini tidak

perlu diubah karena tidak terlalu berpengaruh dan memakan *cost* yang tinggi.

Untuk *resources cooling*, nilai rata-rata utilitasnya adalah 0,05. Sama seperti *resources showering*, nilai utilitas pada *resources cooling* sangat rendah namun juga mengingat bahwa *resources* ini hanya sebagai tempat untuk mendinginkan ikan yang telah dimasak dan di-*shower* maka penulis berasumsi tidak perlu dilakukan optimasi pada *resources* ini.

Terakhir, rata-rata utilitas *resources pre-cleaning* adalah 0,74. Nilai rata-rata *resources pre-cleaning* terlalu tinggi yang artinya *resource* tersebut terlalu sibuk digunakan. Perlu diadakan penambahan jumlah *resources* untuk menurunkan nilai utilitas yang terlalu tinggi ini. *Resources* dalam proses ini adalah berupa *set* yang terdiri dari 16 buah lajur yang bekerja secara paralel. Jumlah lajur ini perlu ditambah untuk mengurangi tingginya nilai utilitas.

IV. PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM ALTERNATIF

A. Sistem Alternatif Pertama

Pada sistem alternatif pertama penulis akan melakukan perubahan berupa:

1. Mengurangi kapasitas *resources* proses *thawing* menjadi 3/4 nya sehingga kapasitas yang baru adalah ruangan untuk proses *thawing* hanya mampu menampung entitas sebanyak 104 buah entitas.
2. Mengurangi lajur dalam proses *cutting* menjadi hanya 2 buah lajur saja.
3. Mengurangi jumlah mesin *cooker* dalam proses cooking menjadi 8 buah.
4. Menambah lajur untuk proses *pre-cleaning* menjadi 20 buah lajur.

B. Sistem Alternatif Kedua

Pada sistem alternatif kedua penulis akan melakukan perubahan berupa:

1. Mengurangi kapasitas *resources* proses *thawing* menjadi 2/3 nya sehingga kapasitas yang baru adalah ruangan untuk proses *thawing* hanya mampu menampung entitas sebanyak 92 buah entitas.
2. Mengurangi lajur dalam proses *cutting* menjadi hanya 2 buah lajur saja.
3. Mengurangi jumlah mesin *cooker* dalam proses cooking menjadi 7 buah.
4. Menambah lajur untuk proses *pre-cleaning* menjadi 26 buah lajur.

C. Sistem Alternatif Ketiga

Pada sistem alternatif ketiga penulis akan melakukan perubahan berupa:

1. Mengurangi kapasitas *resources* proses *thawing* menjadi 1/2 nya sehingga kapasitas yang baru adalah ruangan untuk proses *thawing* hanya mampu menampung entitas sebanyak 69 buah entitas.
2. Mengurangi lajur dalam proses *cutting* menjadi hanya 1

buah lajur saja.

- Mengurangi jumlah mesin *cooker* dalam proses cooking menjadi 5 buah.
- Menambah lajur untuk proses *pre-cleaning* menjadi 32 buah lajur.

D. Hasil Uji Coba Sistem Alternatif

Evaluasi sistem alternatif akan dilakukan dengan perbandingan utilitas pada empat *resources* yang telah dimodifikasi, yaitu *resources thawing*, *resources cutting*, *resources cooking*, dan *resources pre-cleaning* yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6.
Hasil evaluasi rata-rata utilitas *resources* sistem alternatif

| Resources | Sistem Nyata | Sistem Alternatif 1 | Sistem Alternatif 2 | Sistem Alternatif 3 |
|---------------------|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <i>Thawing</i> | 0,2353 | 0,2658 | 0,2796 | 0,3249 |
| <i>Cutting</i> | 0,3867 | 0,5766 | 0,5773 | 0,7562 |
| <i>Cooking</i> | 0,1121 | 0,1411 | 0,1594 | 0,1615 |
| <i>Pre-Cleaning</i> | 0,7388 | 0,7415 | 0,7357 | 0,7278 |

E. Analisis Hasil Uji Coba Sistem Alternatif

Hasil evaluasi dari sistem alternatif pertama yaitu:

- Utilitas *resources thawing* meningkat dari 0,2353 menjadi 0,2658 atau sebesar 12,96%.
- Utilitas *resources cutting* meningkat dari 0,3867 menjadi 0,5766 atau sebesar 49,11%.
- Utilitas *resources cooking* meningkat dari 0,1121 menjadi 0,1411 atau sebesar 25,87%.
- Utilitas *resources pre-cleaning* meningkat dari 0,7388 menjadi 0,7415 atau sebesar 0,36%.

Hasil evaluasi dari sistem alternatif kedua yaitu:

- Utilitas *resources thawing* meningkat dari 0,2353 menjadi 0,2796 atau sebesar 18,83%.
- Utilitas *resources cutting* meningkat dari 0,3867 menjadi 0,5773 atau sebesar 49,29%.
- Utilitas *resources cooking* meningkat dari 0,1121 menjadi 0,1594 atau sebesar 42,19%.
- Utilitas *resources pre-cleaning* menurun dari 0,7388 menjadi 0,7357 atau sebesar 0,42%.

Hasil evaluasi dari sistem alternatif ketiga yaitu:

- Utilitas *resources thawing* meningkat dari 0,2353 menjadi 0,3249 atau sebesar 38,08%.
- Utilitas *resources cutting* meningkat dari 0,3867 menjadi 0,7562 atau sebesar 95,52%.
- Utilitas *resources cooking* meningkat dari 0,1121 menjadi 0,1615 atau sebesar 44,07%.
- Utilitas *resources pre-cleaning* menurun dari 0,7388 menjadi 0,7278 atau sebesar 1,49%.

F. Analisis Waktu Tunggu Antrian

Selain menganalisis utilitas, waktu tunggu antrian juga perlu dianalisis untuk mengetahui seberapa lama entitas harus menunggu sebelum masuk ke dalam suatu proses dalam sistem. Tabel 7. menunjukkan perbandingan rata-rata waktu tunggu antrian (dalam menit) dari sistem asli dan ketiga sistem alternatif.

Tabel 7.
Rata-rata waktu tunggu antrian

| Proses | Sistem Asli | Sistem Alternatif 1 | Sistem Alternatif 2 | Sistem Alternatif 3 |
|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <i>Thawing</i> | 81,692 | 83,230 | 82,603 | 88,909 |
| <i>Cutting</i> | 136,351 | 532,841 | 541,567 | 8502,336 |
| <i>Cooking</i> | 3,825 | 3,585 | 3,655 | 4,390 |
| <i>Pre-Cleaning</i> | 20961,6 | 17800,07 | 13199,79 | 788,13 |

Dari Tabel 7. dapat dilihat bahwa Rata-rata waktu tunggu antrian proses *cutting* meningkat sejauh 290,78% pada sistem alternatif pertama, meningkat sebesar 297,18% pada sistem alternatif kedua, dan 6135,62% pada sistem alternatif ketiga. Hal ini diakibatkan jumlah lajur untuk proses *cutting* yang dikurangi sehingga waktu antrian meningkat sangat drastis.

Sebaliknya, rata-rata waktu tunggu antrian pada proses *pre-cleaning* menurun sebesar 17,76% pada sistem alternatif pertama, menurun sebesar 37,03% pada sistem alternatif kedua, dan menurun drastis sebesar 96,24% pada sistem alternatif ketiga. Hal ini dikarenakan jumlah lajur pada proses *pre-cleaning* ditambah sehingga rata-rata waktu antriannya berkurang.

G. Penentuan Sistem Alternatif Terbaik

Penentuan sistem alternatif terbaik dilakukan dengan uji statistika yaitu uji *paired t* di mana akan dibandingkan sistem alternatif mana yang merupakan sistem alternatif terbaik. Untuk $i = 0, 1, 2, 3$, nilai X_{i1}, X_{i2}, \dots adalah nilai utilitas sistem ke- i , dan untuk $n_1 = n_2 = n$ dapat dipasangkan nilai X_{ij} dengan X_{2j} untuk mendapatkan nilai $Z_j = X_{1j} - X_{2j}$, untuk $j = 1, 2, \dots, n$. Selanjutnya didapat nilai [4]:

$$\bar{Z}(n) = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j}{n} \quad (5)$$

$$\widehat{Var}[\bar{Z}(n)] = \frac{\sum_{j=1}^n [Z_j - \bar{Z}(n)]^2}{n(n-1)} \quad (6)$$

kemudian akan didapat pendekatan interval $100(1-\alpha)$ persen *confidence interval* sebagai berikut:

$$\bar{Z}(n) \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\widehat{Var}[\bar{Z}(n)]} \quad (7)$$

Misal dianggap sistem nyata sebagai sistem 1, sistem alternatif pertama sebagai sistem 2, sistem alternatif kedua sebagai sistem 3, dan sistem alternatif ketiga sebagai sistem 4 maka dapat dilakukan analisis untuk membandingkan ketiga sistem alternatif terhadap sistem nyata pada masing-masing utilitas proses *thawing*, *cutting*, *cooking*, dan *showering* seperti tampak pada Tabel 8., Tabel 9., Tabel 10., dan Tabel 11. dengan menggunakan nilai *confidence interval* sebesar 95 persen.

Tabel 8. Perbandingan Utilitas *Resources Thawing* dengan Uji *Paired-t*

| i | $\bar{X}_i - \bar{X}_1$ | Half-length | Interval |
|---|-------------------------|-------------|--------------------|
| 2 | 0,03050 | 0,00636 | (0,02732; 0,03368) |
| 3 | 0,04430 | 0,00706 | (0,04077; 0,04783) |
| 4 | 0,08964 | 0,00862 | (0,08533; 0,09395) |

Tabel 9. Perbandingan Utilitas *Resources Cutting* dengan Uji *Paired-t*

| i | $\bar{X}_i - \bar{X}_1$ | Half-length | Interval |
|---|-------------------------|-------------|--------------------|
| 2 | 0,18983 | 0,00753 | (0,18606; 0,19359) |

| | | | |
|---|---------|---------|--------------------|
| 3 | 0,19052 | 0,00946 | (0,18579; 0,19525) |
| 4 | 0,36951 | 0,0056 | (0,36671; 0,37231) |

Tabel 10. Perbandingan Utilitas *Resources Cooking* dengan Uji *Paired-t*

| i | $\bar{X}_i - \bar{X}_j$ | Half-length | Interval |
|---|-------------------------|-------------|----------------------|
| 2 | 0,02901 | 0,00583 | (0,02610; 0,03193) |
| 3 | 0,047264 | 0,002065 | (0,046232; 0,048297) |
| 4 | 0,049364 | 0,002278 | (0,048225; 0,050503) |

Tabel 11. Perbandingan Utilitas *Resources Pre-cleaning* dengan Uji *Paired-t*

| i | $\bar{X}_i - \bar{X}_j$ | Half-length | Interval |
|---|-------------------------|-------------|------------------------|
| 2 | 0,00265 | 0,01924 | (-0,00697; 0,01227) |
| 3 | -0,003179 | 0,002029 | (-0,004193; -0,002164) |
| 4 | -0,01108 | 0,02108 | (-0,02162; -0,00054) |

Dari tabel-tabel di atas dapat kita lihat sistem alternatif mana yang mampu memberikan perbedaan secara signifikan terhadap sistem nyata. Hal ini terlihat dari nilai interval confidence interval nya, jika nilai interval tersebut tidak mengandung nilai 0 maka sistem tersebut berbeda secara signifikan dengan sistem nyata. Sebaliknya jika nilai interval mengandung nilai 0 maka sistem tersebut tidak berbeda signifikan dengan sistem nyata. Dari ketiga tabel di atas, hanya sistem alternatif pertama pada *resources pre-cleaning* yang menghasilkan nilai negatif pada intervalnya sehingga sistem alternatif pertama tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap utilitas *resources pre-cleaning*.

Selanjutnya dilakukan juga analisis uji statistika *paired-t* terhadap rata-rata waktu tunggu antrian dari ketiga sistem alternatif dibandingkan dengan sistem nyata. Tabel 12., Tabel 13., Tabel 14., dan Tabel 15. masing-masing menunjukkan hasil uji statistika *paired-t* terhadap rata-rata waktu tunggu antrian pada proses *thawing*, *cutting*, *cooking*, dan *pre-cleaning*.

Tabel 14.11. Tabel Perbandingan Rata-rata Waktu Tunggu Antrian *Resources Thawing* dengan Uji *Paired-t*

| i | $\bar{X}_i - \bar{X}_j$ | Half-length | Interval |
|---|-------------------------|-------------|---------------|
| 2 | 1,51 | 6,58 | (-1,78; 4,80) |
| 3 | 0,89 | 7,63 | (-2,93; 4,70) |
| 4 | 7,19 | 7,92 | (3,23; 11,15) |

Tabel 14.12. Tabel Perbandingan Rata-rata Waktu Tunggu Antrian *Resources Cutting* dengan Uji *Paired-t*

| i | $\bar{X}_i - \bar{X}_j$ | Half-length | Interval |
|---|-------------------------|-------------|------------------|
| 2 | 396,5 | 43,2 | (374,9; 418,1) |
| 3 | 405,2 | 47,8 | (381,3; 429,1) |
| 4 | 8366,0 | 334,4 | (8198,8; 8533,2) |

Tabel 14.13. Tabel Perbandingan Rata-rata Waktu Tunggu Antrian *Resources Cooking* dengan Uji *Paired-t*

| i | $\bar{X}_i - \bar{X}_j$ | Half-length | Interval |
|---|-------------------------|-------------|-----------------|
| 2 | -0,240 | 1,398 | (-0,939; 0,459) |
| 3 | -0,170 | 1,727 | (-1,033; 0,694) |
| 4 | 0,565 | 2,824 | (-0,847; 1,977) |

Tabel 14.14. Tabel Perbandingan Rata-rata Waktu Tunggu Antrian *Resources Pre-cleaning* dengan Uji *Paired-t*

| i | $\bar{X}_i - \bar{X}_j$ | Half-length | Interval |
|---|-------------------------|-------------|------------------|
| 2 | -3162 | 437 | (-3380; -2943) |
| 3 | -7762 | 674 | (-8099; -7425) |
| 4 | -20174 | 673 | (-20510; -19837) |

Berdasarkan keempat tabel di atas maka terlihat bahwa tidak terjadi perbedaan kenaikan rata-rata waktu tunggu antrian yang signifikan pada sistem alternatif 2 dan 3 di proses

thawing dan *cooking* karena terdapat nilai 0 dalam intervalnya. Hal ini justru menunjukkan bahwa sistem alternatif pertama dan kedua lebih baik daripada sistem alternatif ketiga karena modifikasi yang dilakukan pada kedua sistem alternatif tersebut tidak membuat terjadi perbedaan yang signifikan dalam rata-rata waktu tunggu antriannya.

Jika digabungkan dengan hasil uji statistika *paired-t* untuk utilitas maka diperoleh kesimpulan bahwa sistem alternatif kedua yang terbaik dikarenakan sistem alternatif pertama tidak memberikan dampak perubahan utilitas yang signifikan pada proses *pre-cleaning* sehingga sistem alternatif pertama lebih buruk daripada sistem alternatif kedua dan ketiga dalam hal perbaikan utilitas. Sedangkan dalam hal peningkatan nilai rata-rata waktu tunggu antrian, didapat bahwa sistem alternatif ketiga lebih buruk daripada sistem alternatif pertama dan kedua karena memberikan dampak perubahan yang berbeda secara signifikan dibandingkan sistem alternatif pertama dan kedua. Kedua pernyataan ini menghasilkan kesimpulan bahwa sistem alternatif yang terbaik adalah sistem alternatif kedua.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menganalisis utilitas *resources* dari tiap proses pada sistem nyata. *Resources thawing*, *cutting*, dan *cooking* masih terlalu rendah dan perlu ditingkatkan dengan cara mengurangi jumlah *resources* pada masing-masing proses tersebut. Sedangkan utilitas *resources pre-cleaning* masih sedikit terlalu tinggi dan perlu diturunkan dengan cara menambah jumlah *resources* pada proses tersebut. Tiga buah sistem alternatif telah dirancang guna mengoptimasi sistem nyata dan setelah melalui proses analisis diputuskan bahwa sistem alternatif kedua adalah yang terbaik. Sistem alternatif kedua memodifikasi kapasitas *resources thawing* menjadi 2/3 dari kapasitas ruangan mula-mula, mengurangi lajur pada proses *cutting* menjadi hanya 2, mengurangi mesin *cooker* pada proses *cooking* menjadi 7 buah serta menambah lajur pada proses *pre-cleaning* menjadi 26 buah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada orang tua penulis yang senantiasa mendampingi penulis lewat doa-doanya serta seluruh dosen dan staf Teknik Informatika ITS yang telah banyak memberikan sumbangsihnya demi kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Altioek and B. Melamed, *Simulation Modelling and Analysis with Arena*, Cyber Research, Inc. Enterprise Technology Solution, Inc. (2007) 1-6, 66-141, 166-194.
- [2] W. D. Kelton, R. P. Sadowski, and D. A. Sadowski, *Simulation with Arena Second Edition*, New Jersey: McGraw-Hill (2001) 3-15, 49-95, 235-238, 283-286.
- [3] R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers and K. Ye, *Probability & Statistics for Engineers & Scientists Eight Edition*, Pearson Prentice-Hall (2007) 269 – 320.
- [4] A. M. Law and W. David Kelton, *Simulation Modelling and Analysis*, New Jersey: McGraw-Hill (2000) 557-564.